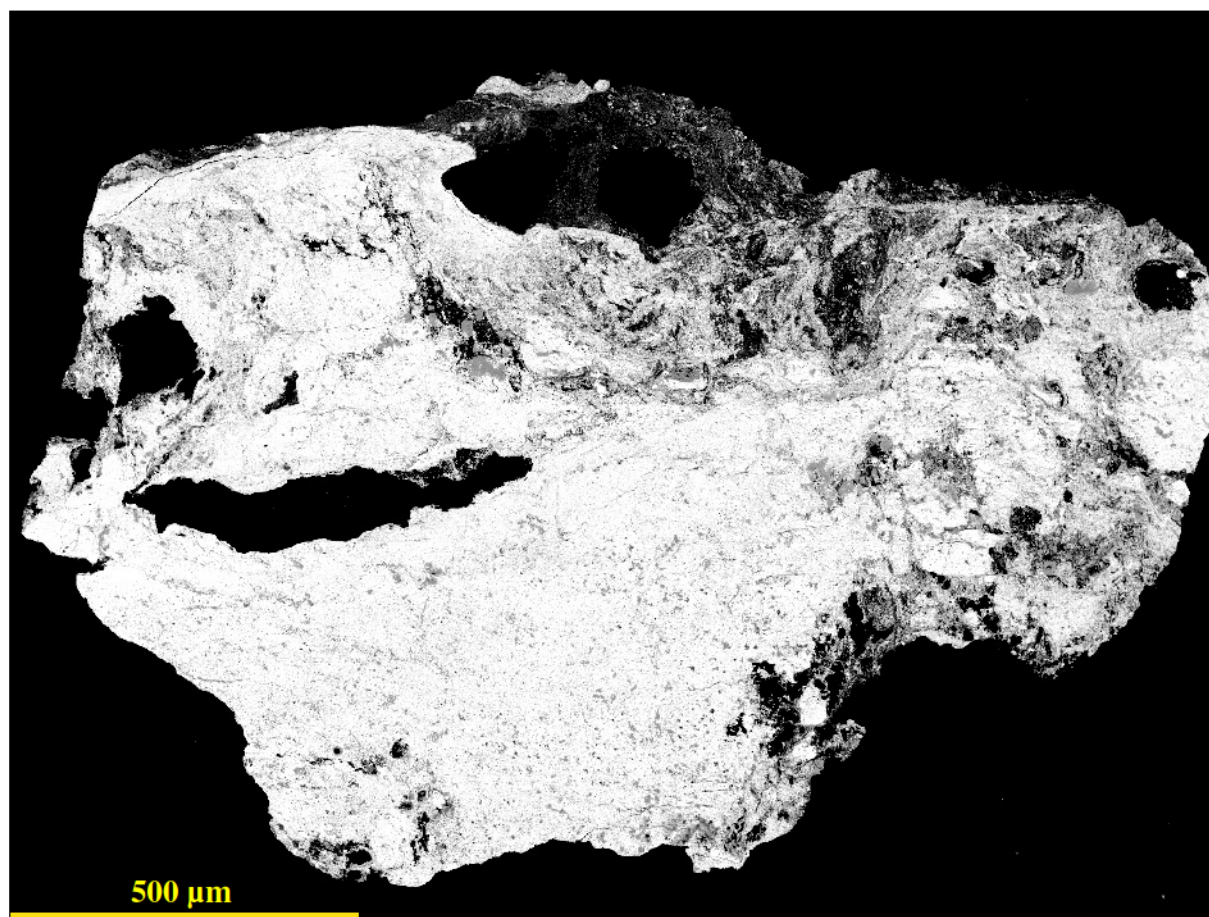


A nagy-kopasz hegyi cheralit környezetgeokémiai vizsgálata

TDK dolgozat



Témavezető: Szabó Csaba, Ph. D.

Konzulensek: Szabó Zsuzsanna, Ph. D. hallgató



ELTE-TTK Kőzettani és Geokémiai Tanszék
Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium

Budapest
2010.



Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célok	3
2. Tórium és cheralit	4
2.1. Tórium	4
2.2. Cheralit	5
3. A vizsgált terület	6
4. Mintavételezés	9
5. Analitikai módszerek	11
5.1. Globális pozíció meghatározás	11
5.2. Helyszíni dózisteljesítmény mérés	11
5.3. Nedves szitálás	12
5.4. Energiadiszperzív rendszerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópia	12
5.4.1. Mintaelőkészítés	12
5.4.2. Műszerleírás	12
5.5. Gamma-spektroszkópia	14
6. Eredmények	16
6.1. Globális pozíció-meghatározás és helyszíni dózisteljesítmény mérés	16
6.2. Nedves szitálás	16
6.3. Energiadiszperzív rendszerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópia	17
6.4. Gamma-spektroszkópia	24
7. Eredmények értékelése és összefoglalás	26
8. English summary	28
9. Köszönetnyilvánítás	29
10. Ábra- és táblázatjegyzék	30
11. Irodalomjegyzék	32

1. Bevezetés és célok

Magyarországon a terepi urán és tórium kutatás főként az 1950-es évekre tehető. 1947-ben kezdődtek az első radiometriai mérések, amelyek a kőzetek urán- és tórium-tartalmának meghatározására irányultak. Ezeket az első vizsgálatokat Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) indította, majd e kutatási előzmények lezárása után, 1952-től, a tórium földtani kutatása ipari keretekben folytatódott tovább (Wéber, 2002).

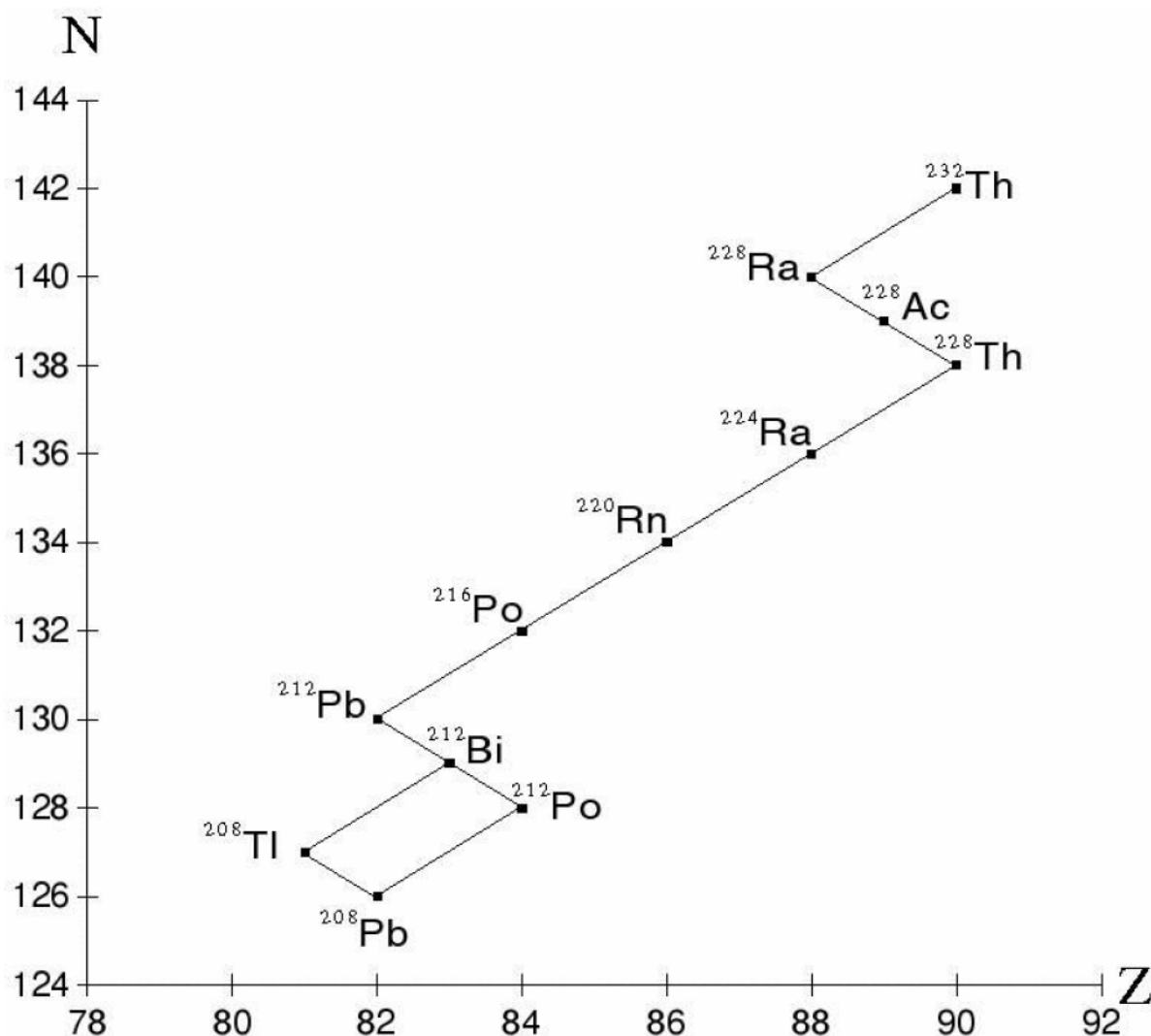
Az egykori Mecseki Ércbányászati Vállalat (MÉV) a felszíni urán kutatást kiegészítette légi radiometriai mérésekkel. Ezek a légi mérések Magyarország 14500 km²-es területét fedték le, amelybe a Budai-hegység egy része is beletartozott (Wéber, 2002). A Nagykovácsi, Budakeszi és Páty között elhelyezkedő Nagy-Kopasz hegy radiometriai felmérésére 1957-ben került sor. Ekkor tizennégy jelentős anomáliát fedeztek fel (Tyhomirov, 1965). 1957-ben a földtani viszonyokat figyelembe vevő, 4,6 km²-es kutatóterületet jelöltek ki, ahol a komolyabb anomáliákat (tizennégyből kilencet) kutatóaknákkal, kutatófúrásokkal és kutatóárkokkal tártak fel (amelyek mindegyikét számokkal jelölték). A begyűjtött kőzetminták elemzésekor kiderült, hogy a komoly tórium-anomália mellett igen jelentős a lantanida-, nióbbium- és ittrium-anomália is (Wéber, 2002). A tóriumot tartalmazó ásványt cheralitként azonosították. A cheralit nagy ritkaföldfém- és tórium-tartalmú foszfát, a monacit csoport tagja. Egy évvel a felfedezés után a MÉV leállította a terepi kutatásokat, mivel a hasadóanyag kutatásnak az urán keresés volt a célja, azonban a területen bizonyítottá vált az urán alárendelt szerepe a tóriummal szemben. 1988-ban a Mecseki Ércbányászati Vállalat befejezte a tórium laboratóriumi keretek között folytatott vizsgálatát is, 1997-ben pedig befejezte a mecseki uránbányászatot is, így véglegesen lezárult a Vállalat által kezdeményezett vizsgálatsorozat, illetve megszűnt a tórium kutatásához szükséges anyagi és szellemi háttér is.

Jelen Tudományos Diákköri munka célja annak kiderítése, hogy milyen geológiai környezetben jelenik meg a cheralit, melyek a kísérőásványai, hogyan keletkezett és milyen elemek dúsulnak benne. Továbbá megvizsgáltam, hogy a kutatóaknák meddőhányójáról származó mintáknak mekkora a tórium-tartalma. A diákköri munka során viszont nem vizsgáltam a minták urán-tartalmát, mert korábbi kutatások kimutatták a területen annak elhanyagolható jelenlétét (Wéber, 2002; Szabó és Boros, 2009; Grosch és Müller 2010).

2. Tórium és cheralit

2.1. Tórium

A tóriumot 1828-ban fedezte fel Jons Jakob Berzelius (svéd kémikus) és a skandináv viharistenről, Thorról nevezte el. A ^{232}Th természetben is előforduló radioaktív izotóp, amelynek bomlási sora az *1. ábrán* látható. Felezési ideje $1,4 \times 10^{10}$ év, átlagos értéke magyarországi talajokban 7,4 ppm (UNSCEAR, 2000). A tórium az aktinidák közé tartozik, egy természetes és huszonnégy mesterséges izotópja ismert. Fontos kémiai tulajdonságai közé tartozik, hogy felszíni körülmények között erős savaknak és lúgoknak is ellenáll (Takeno, 2005). Ez a tulajdonsága azért lényeges, mert ha egy területen kilúgzás történik, akkor a tórium nem kerül oldott fázisba, így a savas víz sem tudja szállítani. Geokémiai szempontból eloszlása a Földön egyenletesebb, illetve 4,2-szer nagyobb az előfordulása az uránnál a kontinentális kéregben (Allegre et al., 1988).



1. ábra: A ^{232}Th bomlási sora (forrás: <http://home.fnal.gov/~hannahnp/decay/Th232.html>)

2.2. Cheralit

Ásványtani szempontból a tórium több ásványban is megtalálható: tóritban, tórium-dioxidban, monacitban és cheralitban. A tórit (ThSiO_4) tórium tartalmú szilikátásvány, amelyben a tóriumot helyettesítheti az urán, néhány ritkaföldfém (pl. Ce, Nd, Sm), az ólom, a vas és a kalcium. A tórium-dioxid (ThO_2) az egyik legnagyobb tórium tartalmú és olvadáspontú oxid. A monacit $[(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4]$ ritkaföldfém és tórium tartalmú (átlagosan 6-7 %, de akár 12 % is lehet) foszfátásvány. A világ monacitkészletét 12 millió tonnára becsülik (World Nuclear Association, 2009). A cheralit $[(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{Th})(\text{P}, \text{Si})\text{O}_4]$ a monacit-csoport tagja. A nagy tórium tartalmú monacit változat elsősorban a granitoidok pegmatitjaiban fordul elő, azonban a Nagy-Kopasz hegyen is kimutatták (Wéber, 2002; Szabó és Boros, 2009, Grosch és Müller, 2010).

A világon több helyen is található cheralit előfordulás, egyik legismertebb a brazil Morro do Ferro (Waber, 1992). Hazai előfordulásának felismerése a MÉV által

kezdeményezett kutatássorozat egyik legjelentősebb eredménye (Wéber, 2002). A tóriumban és ritkaföldfémekben gazdag ásvány területi előfordulására több lehetséges magyarázatot is adtak: hidrotermális hatás vagy tektonikus breccsa ércesedése. Az anomáliaterületeken mélyített egyes aknáknban a cheralit mellett egyidejűleg jelen van cinnabarit is (higany-szulfid). Az élenkvörös szulfid ásvány a hidrotermális folyamatokat támasztja alá (a higany a hidrotermából az egyik legkésőbb kiváló elem) (Wéber, 2002).

3. A vizsgált terület

A vizsgált terület a Nagy-Kopasz hegyen, azon belül is a Szarvas-árok környékén található. A Nagy-Kopasz hegy a Budai-hegység része. Ismert üledékképződésének legrégebbi tagja az Alcsútdobozai Mészke Formáció, alsó-triász korú (Császár *et al.*, 2005; Boros, 2009 által részben módosítva). Erre üledékhíannal települ a középső-triász korú Budaörsi Dolomit Formáció. A dolomitra a felső-triász alján folyamatosan települ a Veszprémi Márga Formáció, a Sándorhegyi Formáció, a Fődolomit Formáció végül a triász végén a Dachsteini Mészke Formáció.

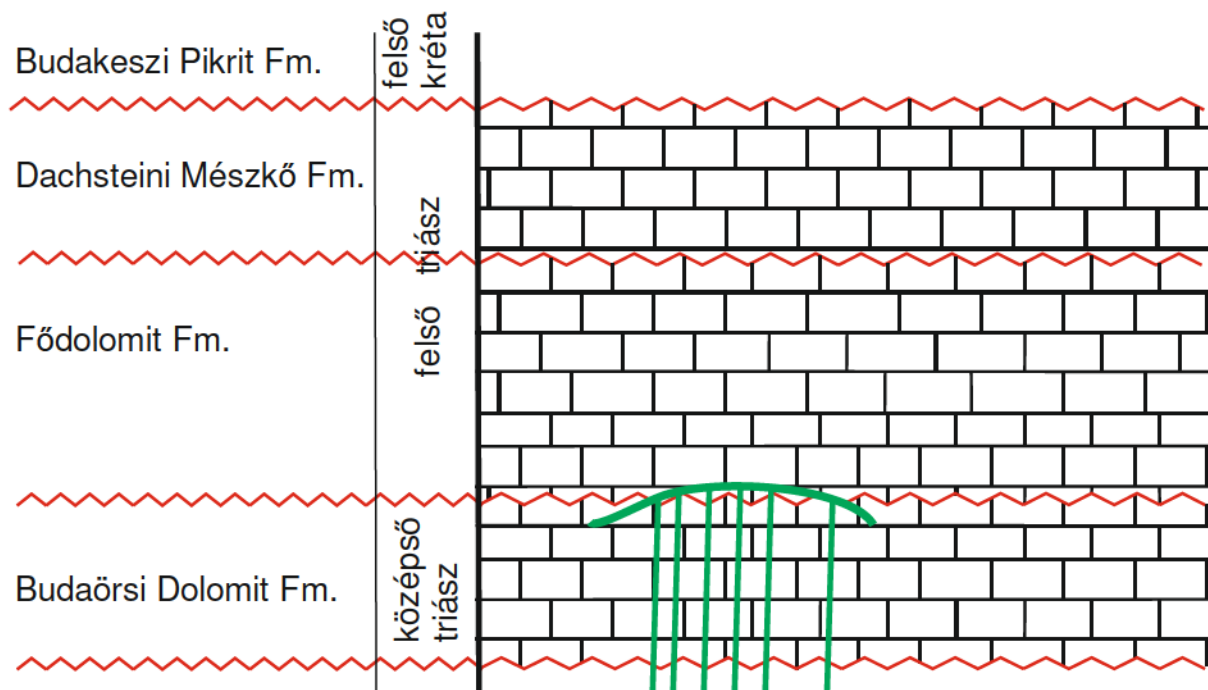
A triász végén a Budai-hegység szárazra került, és a mezozoikum további részében már nem történt üledékképződés. A felső-kréta legvégén egy vulkáni működés következtében a területen megjelent az úgynevezett Budakeszi Pikrit Formáció, ami valójában a szubvulkáni lamprofíros-karbonatitos asszociáció része (Horváth *et al.*, 1983; Horváth *et al.* 1984; Szabó, 1985; Kubovics és Szabó, 1988; Szabó *et al.*, 1993). A további, fiatalabb üledékképződést nem részletezem, mert a kutatás szempontjából nem lényeges, illetve a vizsgált területen nem játszik szerepet.

A fent nevezett formációkból a vizsgált területen (Szarvas-árok) és környékén a felső-triász formációk jelennek meg, illetve a kréta szubvulkáni működés nyomai találhatók meg, így az alábbiakban azoknak a részletezésével foglalkozom (2. ábra).

Budaörsi Dolomit Formáció: karbonát platform fáciesű, többnyire jól rétegzett, olykor ciklikus felépítésű dolomit. Zöldalga maradványok találhatók benne, amiknek kioldódási nyomai után úgynevezett diplopórák dolomitnak is hívják. Vastagsága átlag 600-800 m (Császár, 1997).

Fődolomit Formáció: nagy vastagságú karbonát platform képződmény. Többnyire vastagpados megjelenésű, jellemző vastagsága >1 km.

Dachsteini Mészkő Formáció: szintén karbonát platform, peritidális, illetve szubditási övben képződött mészkő, amely lofer ciklusos. Ősmaradványa a Megalodontaceae kagyló. Átlagos vastagsága 800-1000 m.

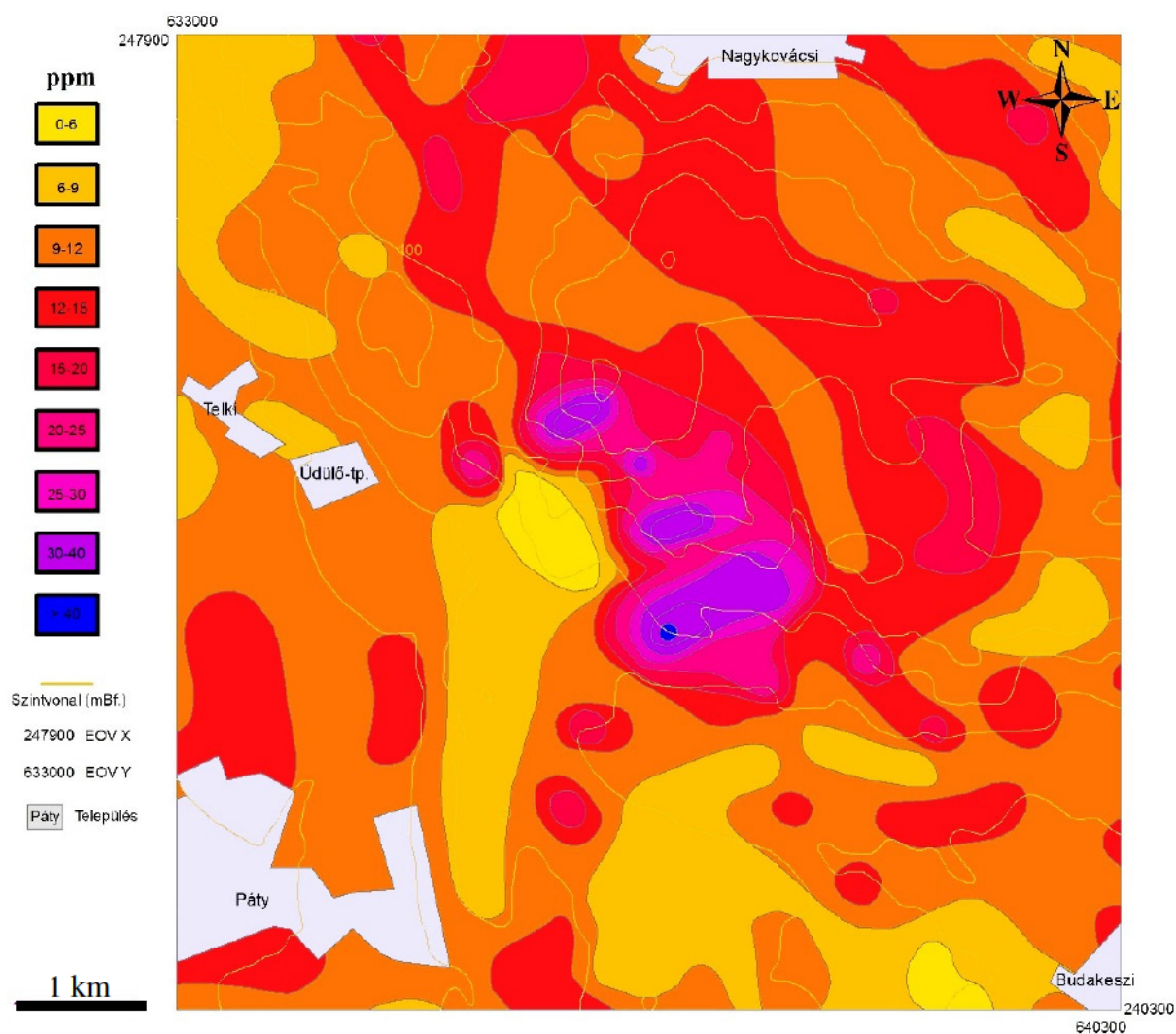


2. ábra: A vizsgált terület ismert rétegsora (Császár et al., 2005; Boros, 2009 által részben módosítva)

A tórium-anomáliák triász, azon belül is ladini-karni dolomitokból (Budaörsi Dolomit és Fődolomit) és a nori Dachsteini Mészkőből álló területeken fordulnak elő elsősorban, de nemcsak ezekre a képződményekre jellemzők. *Wéber (1989)* szerint a negyedidőszaki eróziós folyamatok nagy szerepet játszottak az elterjedési terület kialakulásában. A terület földtani fejlődése során figyelembe kell venni a hidrotermális hatásokat is, amit a tórium mellett található higany jelenléte is igazol (a hosszan tartó hidrotermális hatás során az egyik legkésőbb kiváló elem). A higany leggyakoribb ásványos formája a cinnabarit. Lehetséges továbbá, hogy a tórium-tartalmú kaolinites agyag eredetileg egy földpátos, tóriumot tartalmazó telérközet volt, amelyet a már korábban tárgyalt feláramló hidrotermák erodáltak (*Wéber, 2002*).

Az anomális terület felfedezése az 1950-es években történt, amelynek előtörténete, hogy az 1957-1958-ban végzett Nagy-Kopasz hegyi fúrásokban a kiváltó tényező előbb vált ismertté, mint a közvetlenül ráutaló mágneses anomália. Több kutatóárkot is mélyítettek a területen és térképező fúrások is feltárták az anomáliát. Ezek közül a 4-es számú fúrás két szakaszát (91,8-98,0 m és 119,4-120,0 m) tanulmányozta különös részletességgel

Szabó (1958). A kréta magmás tevékenység terméke az úgynevezett Budakeszi Pikrit (*Wéber, 2002*). A „pikrit” (valójában lamprofír) megjelenése az anomália megjelenésében közvetett hatásként jelen lehetett mintegy a hirdotermák újabb mobilizációjáért felelős magmás telérek. Ezekkel az anomáliákkal állhat kapcsolatban a budai hévforrások toron- (^{220}Rn), radon- (^{222}Rn), valamint egyéb oldott elemtartalma, mint például: F, Ba, Sr, SiO_2 , PO_4 (*Wéber, 2002*).



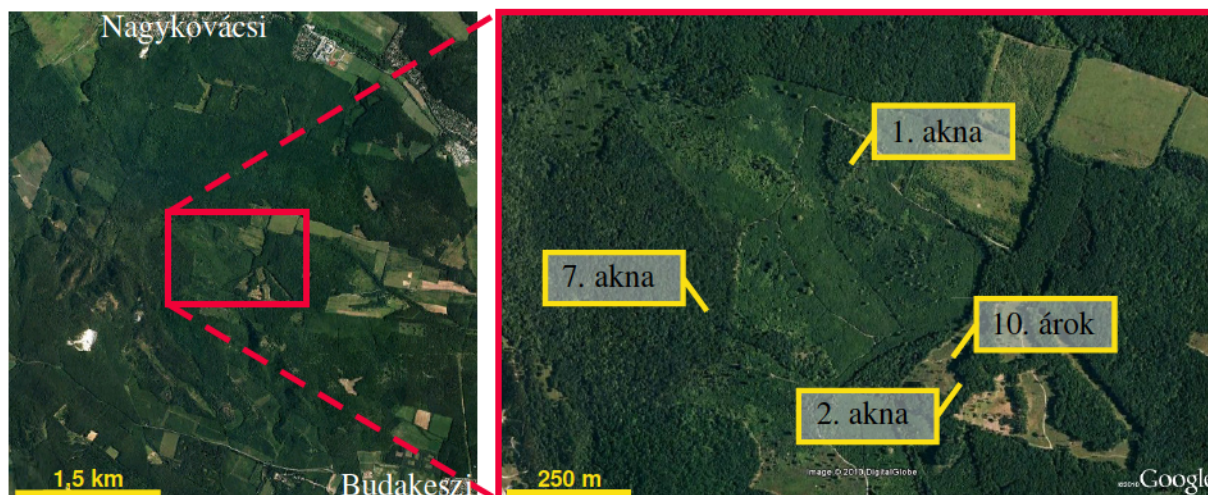
3. ábra: A Nagy-Kopasz hegy és környékének légigamma-tórium eloszlás térképe (*Tyhomirov, 1965; Boros, 2009 által módosítva*)

A feltárt anomáliára az ÉNy-DK irány jellemző (3. ábra), egy ilyen irányú egyenes mentén összeköthető a nagykovácsi és a budaörsi anomáliaterület. Ezek között hasonlóságok fedezhetők fel: tóriumban gazdag geológiai képződmények vannak mindkét területen, és távolságuk mindössze 8 km. További kutatásokban arra következtetnek, hogy a budai-hegységi lamprofír egy késő mezozoos regionális magmatizmussal része (*Szabó et al., 1993*).

4. Mintavételezés

A mintavételezési helyszínek kiválasztását főként *Wéber (1962, 2002)* és *Dudko (1984)* korábbi kutatásai, illetve a terület légigamma-tórium eloszlás térképe (*Tyhomirov, 1965*) határozta meg. A kutatóaknák kiválasztásában további segítséget nyújtott Puszpán Simon úr területismerete is.

A terület mintázása során egy helyszíni gamma dózisteljesítmény mérő eszköz (Thermo Scientific FH 40G-L10) segítségével választottam ki a mintavételi pontokat. Ezzel egyidejűleg Garmin 60 GPS-sel meghatároztam a pontok koordinátáit EOV rendszerben. Az 1. kutatóaknát Adyliget felől, a piros jelzésű turistaúton, majd egy erdészeti úton közelítettük meg (*Gerzson és Wéber, 1960*). Itt megmértem a meddő felszínén a dózisteljesítményt, illetve felvettem az akna EOV koordinátáit. Az innen származó minta az NK5, illetve NK6 nevet kapta, amely minták vizsgálata már egy korábbi TDK munkában megtörtént (*Grosch és Müller, 2010*). Ettől az 1. számú aknától délnyugatra elhelyezkedő 7. kutatóaknához egy erdészeti úton jutottunk el. Ezen akna meddőjéből származik az M002 minta. A mintázás és a dózisteljesítmény mérés után szintén egy erdészeti úton haladtunk tovább a 10. kutató árok felé, keletre. A 10. számú árok meddőjéből származó minta az M004. Az M005 jelű mintát az ároktól 50 méterre, délre található 2. számú kutatóakna meddőjéből gyűjtöttem. A megmintázott területet az 4. ábrán mutatja.



4. ábra: A Nagy-Kopasz hegy és a mintavételezési pontok elhelyezkedése (forrás: GoogleEarth)



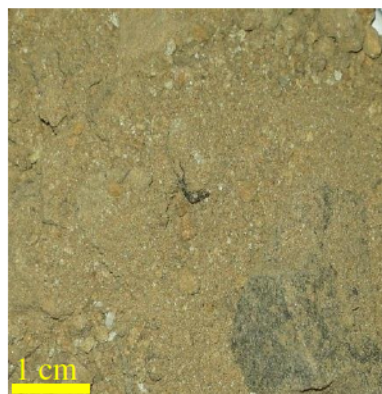
**5. ábra: NK5 talajminta
fényképe**

Az NK5 jelű talajminta (5. ábra) a 1. számú kutatóakna meddőhányójáról származik. A minta vörösesbarna színű, az általunk látott legnagyobb frakció a 3-4 centiméteres, többnyire karbonátos közettörmelék. A minta tömege kb. 2 kg.



**6. ábra: NK6 jelű talajminta
fényképe**

A minta a 1. kutatóakna keleti végéből származik. A mintaszín az NK5-tel azonos vörösesbarna. Az NK6 minta (6. ábra) legnagyobb szemcsemérete a 6-7 centiméteres, többnyire karbonátos közettörmelék. A minta tömege kb. 1,5 kg.



**7. ábra: M002 minta
fényképe**

Az M002 mintát (7. ábra) a 7. kutatóakna meddőjéből származik. A meddő színe átmenetes, helyenként sárga, helyenként inkább vörösesbarna. A minta egy vegyes zónából származik, így a színe sárgászörös. A legnagyobb frakció a 3 centiméteres, zömmel karbonátos közettörmelék. A minta tömege kb. 1 kg.



**8. ábra: M004 talajminta
fényképe**

A minta (8. ábra) színe világos zöldesszürke, a 10. kutatóárból származik. A legnagyobb szemcseméret a 6-8 centiméteres karbonátos kőzettörmelék. A minta tömege kb. 0,5 kg.



**9. ábra: M005 jelű minta
fényképe**

Az M005 számú minta (9. ábra) a 2. akna meddőjéből származik. A színe kicsit világos szürkészöld. A legnagyobb látható frakció a 4-6 centiméteres agyagos-karbonátos kőzettörmelék. A minta tömege kb. 1,5 kg.

5. Analitikai módszerek

5.1. Globális pozíció meghatározás

A GPS koordinátákat Garmin GPS 60-al határoztam meg. A GPS készülék 24 (plusz 3 tartalék) műhold alapján határozza meg a tartózkodási helyet, amelyet a felszínen elhelyezett fix adók segítségével korrigál. A GPS maximális mérési hibája 26 méter horizontálisan, vertikálisan ennek többszöröse.

5.2. Helyszíni dózisteljesítmény mérés

A helyszíni dózisteljesítmény méréseket egy Thermo Scientific FH 40G-L10 típusú kézi doziméterrel végeztem. A hordozható műszer mérési tartománya 10 nSv/h - 100 mSv/h, a detektált gamma sugárzás energiatartománya pedig 30 keV - 4,4 MeV.

5.3. Nedves szitálás

A szitálást az ELTE-TTK Kőzettani és Geokémiai Tanszékén működő Litoszféra Fluidum Kutatólaboratóriumban végeztem. A begyűjtött mintákat nedves szitálás segítségével szemcseméret frakciókra bontottam a szemcseméret eloszlás vizsgálata és a további vizsgálatok kivitelezése végett. A szitálást egy FRITSCH típusú rázógépen végeztem, a géphez tartozó FRITSCH szitákból összerakott szitasorozaton. A sziták a legkisebbtől az egyre nagyobb lyukátmérő felé haladva a következők: 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm és 2 mm. Így a nedves szitálás után hét frakciót kaptam: <0,063 mm, 0,063-0,125 mm, 0,125-0,25 mm, 0,25-0,5 mm, 0,5-1 mm, 1-2 mm, >2 mm. A nedves szitálás hátránya, hogy anyagvesztéssel jár, de a begyűjtött talajminták száraz szitálása nem volt kivitelezhető nagy agyagtartalmuk miatt.

5.4. Energiadiszipatív rendszerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópia

5.4.1. Mintaelőkészítés

A mintaelőkészítés minden fázisát az ELTE-TTK-n működő Litoszféra Fluidum Kutató Laboratóriumban végeztem. A szitasoron elkülönített 1-2 mm és >2 mm frakciókból válogattam ki szemcseméretekként 50-90 szemcsét Nikon SMZ1000-es binokuláris mikroszkóp alatt. A színeket tekintve a szeparátumban volt sárga, vörös, fekete és tarka szemcse is, gondolva az üde és mállott szemcsékre is. A válogatott szemcsék közül 5-20 darabot alumínium lemezre ragasztottam öntapadós ragasztóval, így lehetővé téve a felszíni elemösszetétel a felszíni morfológiával együtt. A szemcsék többi részét 5×2,5 cm-es üveglapra ragasztottam pillanatragasztóval. Az üvegre egy-egy frakcióból származó szemcsék kerültek. A ragasztás után csiszolás, majd végül gyémánt pasztával történő polírozás következett. Polírozás után Nikon Eclipse LV1000 Pol polarizációs mikroszkóppal vizsgáltam a csiszolatokat, így áteső és ráeső fényben is megnéztem a szemcséket. A szeparátumokról külön-külön fényképet készítettem a mikroszkópra erősített Nikon DS-F11 kamerával. Az elkészült preparátumokra vékony (20 nm) szénréteget vittünk fel vákuumgőzölő segítségével, hogy a minták felülete vezető tulajdonságú legyen, és ne töltődjön fel az elektromikroszondás elemzés során.

5.4.2. Műszerleírás

A pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) mérési elve, hogy egy kellően fókuszált elektronsugárral a minta felszínét végigpásztázza. A vizsgálatok során a Kőzettani és Geokémiai Tanszéken levő AMRAY 1830 I/T6 típusú elektronmikroszkópot használtunk.

Amikor az elektron kölcsönhatásba kerül az anyaggal, akkor egy úgynevezett gerjesztési körte alakul ki. Ez nem azért keletkezik, mert a műszer nem tudja kellően kis területre fókuszálni a sugarat, hanem azért, mert a minta anyagában lévő elemeken szóródik az elektronsugár. A gerjesztési körte hátránya, hogy így nem csak a minta felszínéből, hanem az alatta lévő tartományból is ad információt (*Pozsgai, 1995*).

Pásztázó elektronmikroszkóppal a szekunder elektronok adnak képet a minta felszínről. Ezeknek az 50 eV-nál kisebb energiájú elektronoknak a nagy hányada úgy keletkezik, hogy 5-50 nm-es mélységben az elektronsugár kölcsönhatásba lép az itt található atomok elektronjaival oly módon, hogy a legkülső héjon lévő leglazábban kötött elektronokat leszakítja. A szekunder elektronok kisebb része a kis energiájú, úgynevezett visszaszórt elektronok. A szekunder elektron képen lehet látni a felületi morfológiát. A visszaszórt elektronkép a minta kémiai összetételéről ad felvilágosítást a mélyebben behatoló elektronok segítségével. A képeken a nagyobb rendszámú elemek területe világosabbak, a kisebb elemek területe pedig sötétebb. Ez azért lehetséges, mert a nagyobb rendszámú elemeket tartalmazó szemcsékben a nagyobb atommagokon nagyobb mértékben visszaverődnek az elektronok és fordítva.

Az elemi összetétel meghatározására egy EDAX PV 9800 típusú energiadisperzív röntgen spektrométert (EDS) használtunk, amely a SEM-hez van csatlakoztatva. Az EDS mérési elve a Si(Li) félvezető detektoron alapul: röntgensugárzás hatására a szilíciumból töltéshordozók szabadulnak fel, ami energiátöbblettel jár. Az így felszabadult fotoelektronokat a detektor vezetési sávba emeli (*Pozsgai, 1995*). Az EDS-sel végzett mikroanalízishez a visszaszórt elektron kép segítségével választottuk ki a területeket. Az elemek meghatározása úgy történik, hogy a kiválasztott helyről karakterisztikus röntgensugárzást detektál a Si(Li) félvezető detektor. A karakterisztikus röntgensugárzás elemspecifikus, tehát a sugárzás energiájából következtetni lehet az elem minőségére. Ez a sugárzás úgy keletkezik, hogy a sugárnyaláb az elem egyik héjáról kiüt egy elektront. Mivel az atomokban az elektronok energiaminimumra törekednek, ezért egy külsőbb héjról a kiütött helyére beugrik egy elektron. A két héj közötti energiakülönbséget karakterisztikus röntgensugárzás formájában bocsátja ki az atom. Az EDS előnye, hogy a mintában lévő összes elemet párhuzamosan képes detektálni a nátrium és a nála nagyobb rendszámú elemek esetén ($Z > 10$).

5.5. Gamma-spektroszkópia

Kutatómunkánk során gamma-spektroszkópiás méréssel határoztuk meg a vizsgált minták (NK5, NK6, M002, M004, M005) ^{232}Th fajlagos aktivitását és koncentrációját. Mind a fajlagos aktivitás, mind a koncentráció kiszámításához elengedhetetlen, hogy a mintában beálljon a szekuláris egyensúly. Ilyenkor az anyaelemek és a leányelemek aktivitása megegyezik. Mindez alapfeltétele az, hogy az anyaelem felezési ideje nagyságrendekkel nagyobb legyen a leányelem felezési idejénél és a leányelem felezési idejének körülbelül három-ötszöröse teljen el, mert ekkor nagy pontossággal megegyeznek az aktivitások. Ez a feltétel a ^{232}Th sor esetén igen rövid idő alatt teljesül, hiszen a sor egyetlen gáznemű izotópjának, a toronnak (^{220}Rn) a felezési ideje csupán 55,6 másodperc és leányelemei is rövid idő alatt tovább bomlanak.

A gamma-spektroszkópiai vizsgálatokat az ELTE-TTK Atomfizikai Tanszékén végeztük. A használt műszer egy nagy tisztaságú germánium (HPGe) detektor és a hozzá csatlakoztatott 4096 csatornás amplitúdó analízátor. A detektor anyagával háromféle módon léphet kölcsönhatásba a gamma-foton: az első a fotoeffektus, a második a Compton-szórás, a harmadik pedig a párkeltés. A fotoeffektus során a gamma-foton teljes energiáját átadja a kötött elektronnak, majd megsemmisül. Az így átadott energia a spektrumban úgynevezett teljes energiacsúcsot hoz létre. A fotoeffektus valószínűsége a rendszám ötödik hatványával arányosan nő (ezért célszerű nagy rendszámú elemet használni detektorként). A Compton-szórás során a gamma-foton a szabad (nem kötött) elektronokon szóródik. Ennek az energiaátadásnak a valószínűsége a rendszám harmadik hatványával arányos. A spektrum elején található a Compton-hát, amely minimalizálására törekednek a detektorgyártók, ezért is használnak nagy rendszámú elemet (*Dickson, 2004*). A párkeltés során a gamma-foton az egyik atommag erőterében egy pozitront hoz létre, amely az ott lévő egyik elektronnal párt alkot. Ez a párképzés csak akkor jöhet létre, ha a gamma-sugárzás energiája nagyobb, mint 1022 keV (az elektron és a pozitron nyugalmi tömegének megfelelő energia). A pozitron az elektronnal egyesül és átalakul két (ritka esetben három) 511 keV energiájú fotonná, amelyek egymással ellentétes irányban hagyják el az annihiláció pontját. A párkeltésből visszamaradó foton és az annihiláció során keletkező fotonok egyszerre történő detektálása kiadja a teljes energiás csúcsot.

A mérés során karakterisztikus csúcsokat kapunk. A csúcsokra különböző magasságú Gauss-görbék illeszthetők, amelyek szélessége körülbelül 100 eV. Ezeket a Gauss-görbéket csúcselemező program segítségével ki lehet értékelni a spektrumban. A vízszintes tengelyen az energia, míg a függőlegesen a beütésszám található. Adott energiához adott radioaktív

izotóp tartozik. Az aktivitás és a fajlagos aktivitás kiszámítása előtt lefuttattunk egy három napos háttérmerést. Az így kapott háttéradatokat a pontos kiértékeléséhez le kell vonni a mért értékekből, mert az építőanyagok sugárzása, a detektor esetleges elszennyeződése és a kozmikus sugárzás megnöveli az adott energiához tartozó beütésszámot.

Adott energiához adott izotóp és annak aktivitása tartozik, amely a következő módon számolható ki:

$$A = N/(t \cdot \epsilon \cdot \eta) - N_H/(t_H \cdot \epsilon \cdot \eta),$$

ahol A az aktivitás [Bq], N a beütésszám [db], N_H a háttérsugárzás beütésszáma [db], t a mérési idő [s], t_H a háttérmerés ideje [s], ϵ a relatív gyakoriság (a bomlás során a fotonok hányad része kerül a vizsgált csúcsba), a η pedig az adott energiára és geometriai elrendezésre jellemző hatások.

A gamma-spektroszkópiai méréseket az ELTE-TTK Atomfizikai Tanszékén végeztük. A GC1520-7500 SL típusú HPGe detektor egy ólomkamra belsejében van elhelyezve, hogy a kintről érkező sugárzások a mérést a legkevésbé befolyásolják. A detektorhoz kapcsolódó mérőrendszer 100-2800 keV közötti gamma-fotonokat detektálja, amelyeket energiák szerint 4096 csatornába gyűjt. A csúcs alatti területet Spill számítógépes elemző programmal értékeltük ki, amelyet az ELTE-TTK Atomfizikai Tanszék fejlesztett ki. A relatív gyakoriságot egy adatbázisból kerestük ki (*Nuclides, 2000*). A hatások meghatározásához különböző, a mintára vonatkozó adatokra van szükség: a minta geometriai adataira, illetve az átlagos rendszámra, sűrűsége. A talajmintára vonatkozó átlagértékek meghatározásához egy főleg dolomitból [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] álló talajt vettünk, amely közelítés nagy valószínűséggel fennáll a minták vizsgálatai alapján. A hatásfokot kiszámító program Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával határozza meg az adott energiához kapcsolódó hatásfokot.

Az öt mintából az M002, M004 és M005 jelű talajmintát egy-egy napos mérésre helyeztük be az ólomtéglákból felépített mintatérbe. Az NK5 és NK6 jelű minták vizsgálatát korábbi dolgozat mutatta be (*Grosch és Müller, 2010*). Mivel a minta mérése egy napos, a háttér mérése három napos volt, ezért az adott energiákhoz tartozó háttérbeütések számát harmadoltuk. A mérésekhez tartozó adatsorokat a már említett két programmal értékeltük ki, majd ezek után táblázatba rendeztük. A ^{232}Th bomlási sorához tartozó izotópcsúcsokat kiválasztva értékeltük ki a mintáinkat: ^{228}Ac (270 keV, 338 keV, 463 keV, 911 keV), ^{212}Pb (238 keV) és ^{208}Tl (583 keV, 2615 keV) csúcsokat elemeztük. A kapott értékekből kiszámoltuk az aktivitást és a fajlagos aktivitást. A fajlagos aktivitás segítségével megbecsültük a tórium koncentrációját ppm-ben (g/t) a következő, levezethető képlet alapján (*Szabó, 2009*):

$$c = K \cdot A,$$

$$K = 1000M/N_A \cdot \lambda,$$

ahol c a koncentráció [ppm], K átváltó konstans, melynek értéke ^{232}Th esetében 0,2472 kg/Bq, A a fajlagos aktivitás [Bq/kg], M a tömegszám [g/mol], N_A az Avogadro-szám, a λ pedig a bomlási állandó [1/s].

6. Eredmények

6.1. Globális pozíció-meghatározás és helyszíni dózisteljesítmény mérés

A Nagy-Kopasz hegyről gyűjtött minták származási helyét, annak EOVS koordinátáit és a felszínen mért dózisteljesítményt az 1. táblázat mutatja.

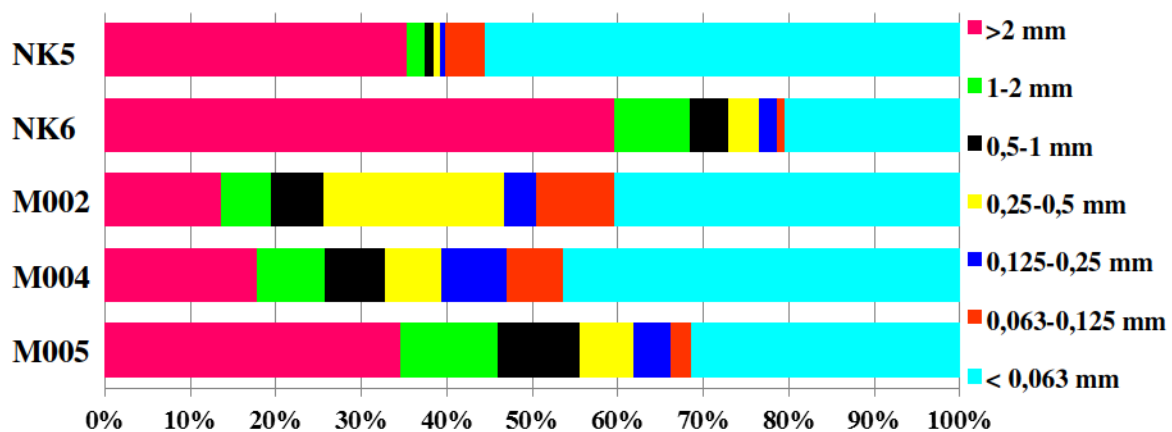
1. táblázat: A Nagy-Kopasz hegyről gyűjtött minták származási helye, EOVS koordinátái és a felszínükön mért dózisteljesítmény

Minta név	Mintavételi helyszín	EOVS koordináták	Mért dózisteljesítmény
NK5	1. akna	E 637178, N 245111 ± 5 m	600 nSv/h
NK6	1. akna	E 637178, N 245111 ± 5 m	2 700 nSv/h
M002	7. akna	E 637188, N 244708 ± 4 m	400 nSv/h
M004	10. árok	E 637892, N 244554 ± 9 m	3 700 nSv/h
M005	2. akna	E 637914, N 244512 ± 6 m	10 700 nSv/h

A táblázatból kiderül, hogy a helyszínen mért dózisteljesítmény a 2. aknánál a legnagyobb, a 7. kutatóakna meddőjénél pedig a legkisebb.

6.2. Nedves szitálás

A korábban vizsgált mintákat (NK5, NK6) és az újonnan begyűjtötteket (M002, M004, M005) közös tömegszázalékos diagram mutatja (10. ábra), így áttekinthető a különböző szemcseméret frakciók megoszlása a mintákban.



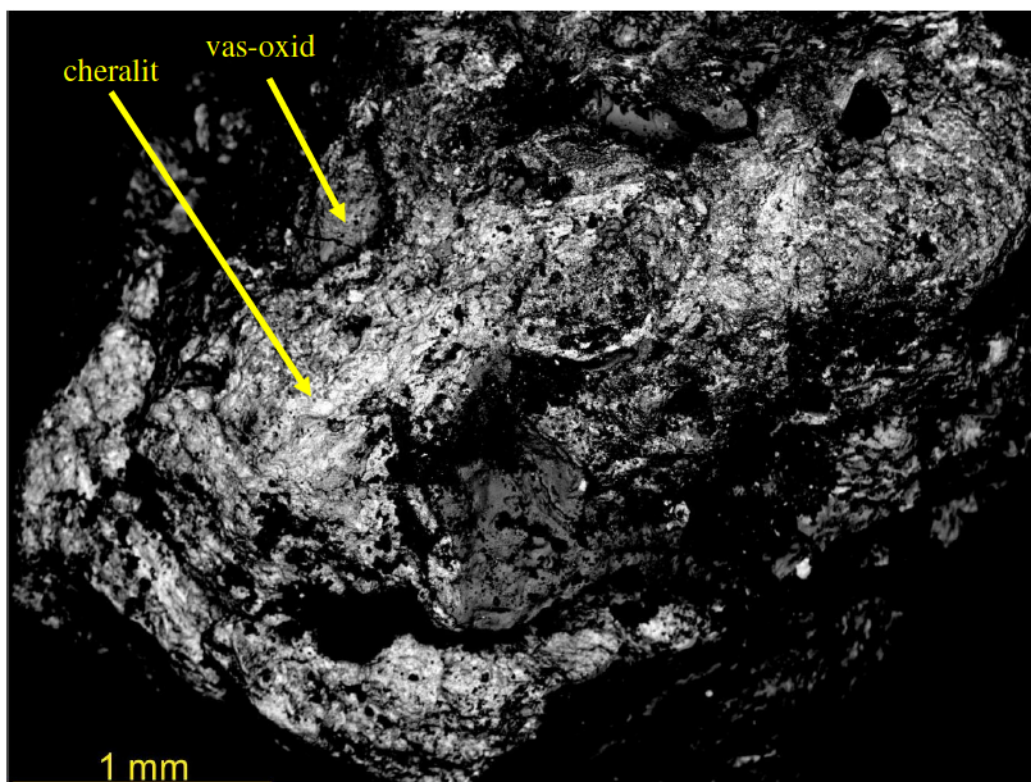
10. ábra: A vizsgált minták szitasorral meghatározott tömegszázalékos szemcseméret eloszlás diagramja

A 10. ábrán jól kirajzolódik, hogy a mintákban főként a 2 mm feletti és a 63 μ m alatti frakciók dúsulnak, kivételt a M002 jelű minta képez, amelyben a 2 mm feletti szemcseméretnél nagyobb tömegszázalékban van jelen a 0,25-0,5 mm-es frakció. Összességében a legkisebb mennyiségben jelenlevő szemcsék a 0,125-0,25 mm közöttiek.

Az NK5 és NK6 jelű minták túlnyomó részét a 2 mm feletti és a 63 μ m alatti szemcseméret alkotja. A többi frakció 10, illetve 20 tömegszázalékban van jelen. Az M002, M004 és M005 mintákban kiegyenlítettebb az eloszlás.

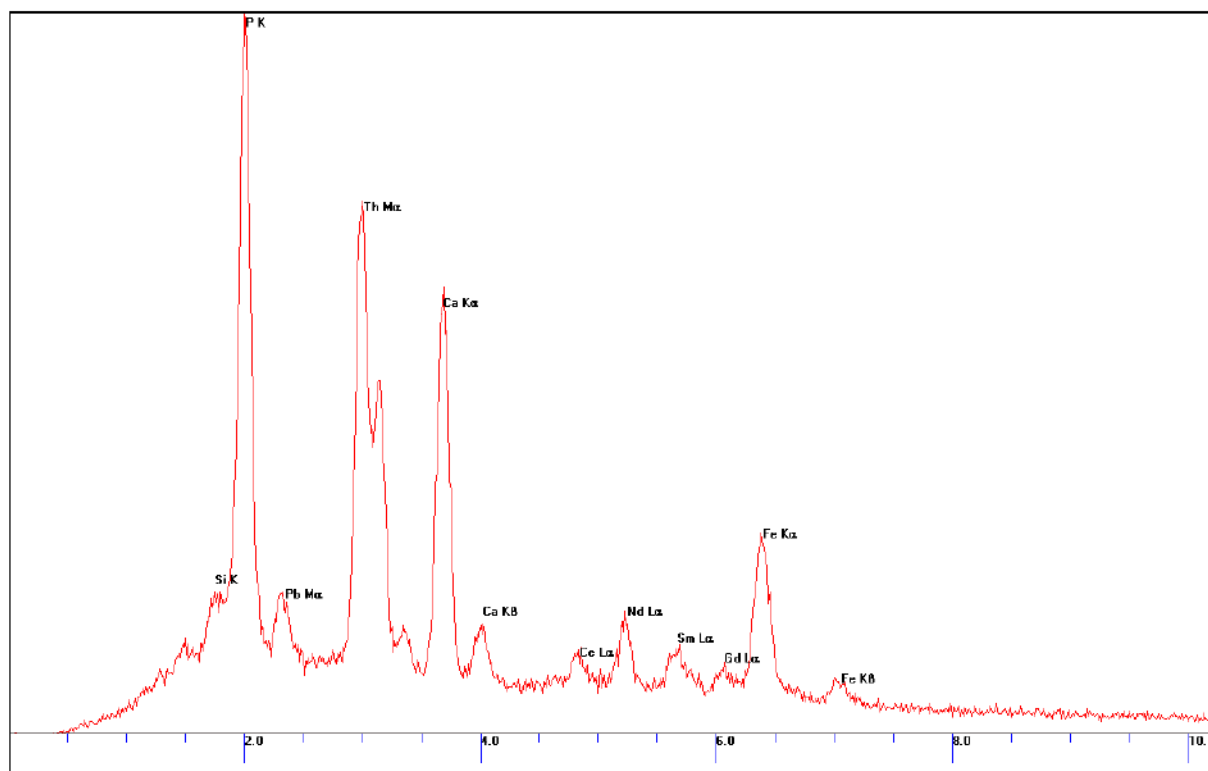
6.3. Energiadiszipatív rendszerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópia

A több száz szemcse vizsgálata során készült felvételek közül néhány reprezentatív fotóval és méréssel mutatom be az eredményeket. Az vizsgált minták kiválasztott szemcséinek felszíni vizsgálatai azt mutatták, hogy a cheralit a szemcsék felszínén is jelen van (11. ábra).



11. ábra: M005 mintából származó szemcse felszíni cheralit megjelenése

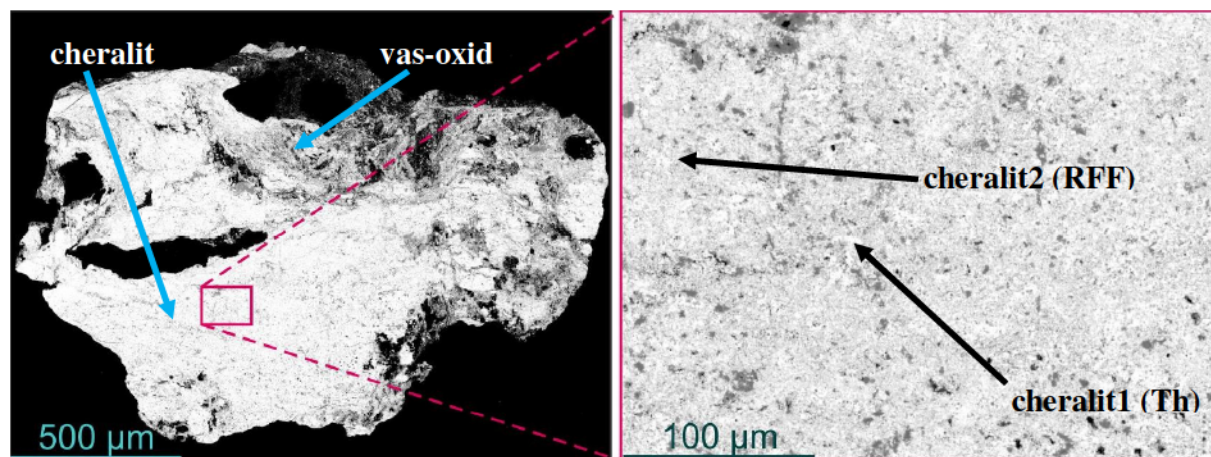
A 11. ábrán bemutatott szemcse két részből tevődik össze: a sötétebb szürke a vas-oxid, míg a fehéres színű a cheralit.



12. ábra: M005 mintából származó cheraliton felvett röntgenspektrum

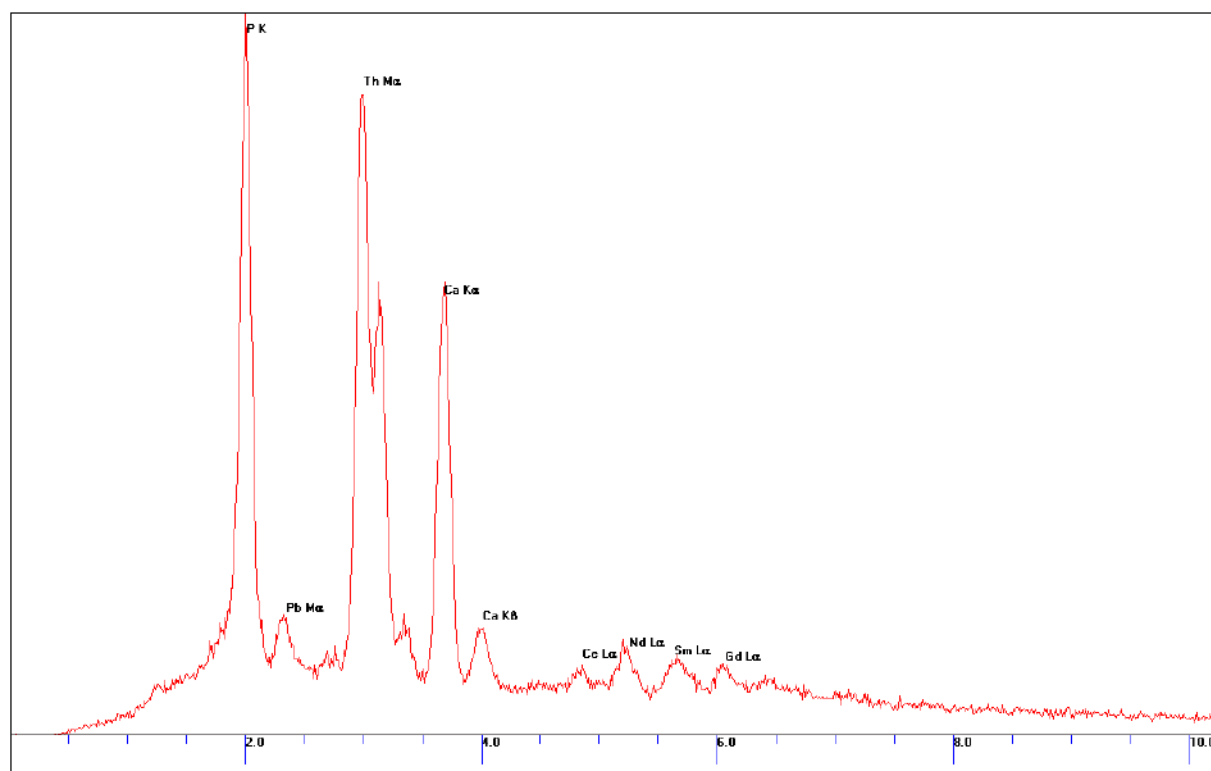
Az 11. ábrán látható szemcse röntgenspektrumából (12. ábra) kiderül, hogy a cheralit mellett a vas-oxidos mátrixból is kaptunk információt. A szemcse ritkaföldfém-tartalma nagy (21 w%), ezen belül a neodímium-tartalom pedig kiemelkedően nagy (9 w%).

Több cheralitos szemcsén elvégzett vizsgálat azt mutatja, hogy a cheralit nem egynemű, tehát vannak tóriumban, illetve ritkaföldfémekben gazdagabb részek is benne (13. ábra). A RFF-ben dúsabb cheralit a visszaszórt elektronképen sötétebb színnel látszik.

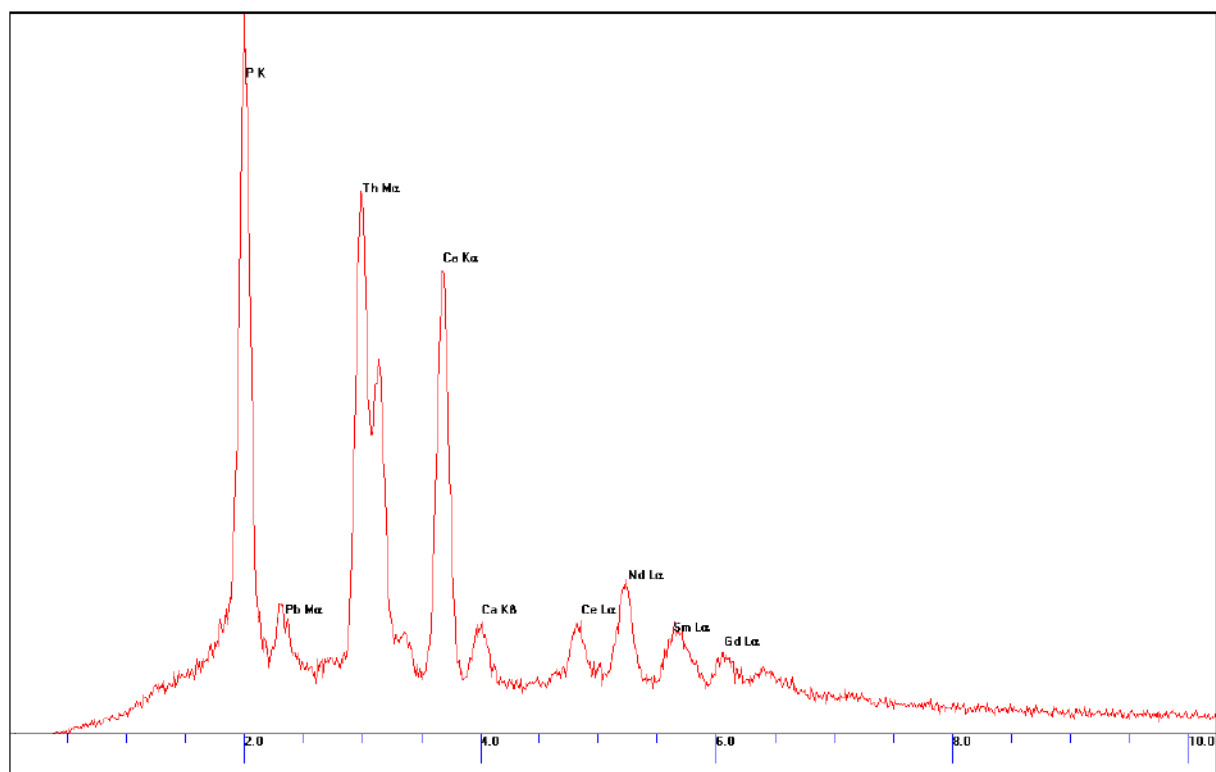


13. ábra: Az M004 mintából származó, vas-oxidokból és cheralitból álló szemcse eltérő cheralit összetételét mutató visszaszórt elektronkép

Erről a cheralitról két röntgenspektrumot vettünk fel, amelyek a 14. és 15. ábrán láthatók.

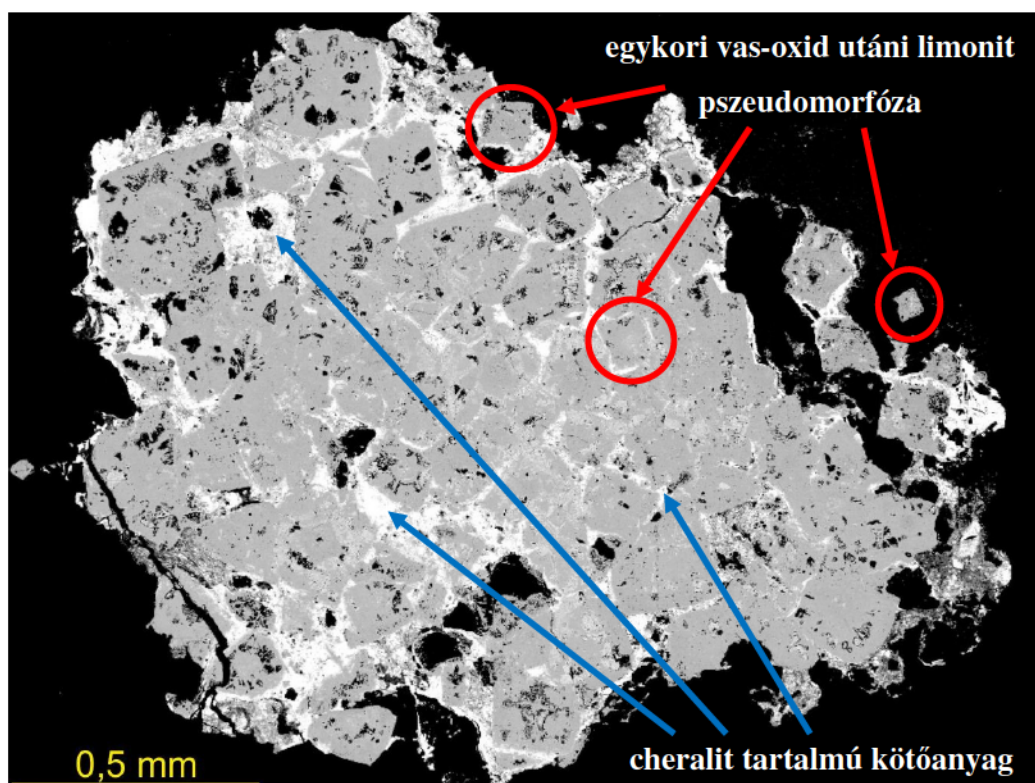


14. ábra: Az 13. ábrán bemutatott szemcse világos cheralit1 tartalmának röntgenspektruma



15. ábra: Az 13. ábrán bemutatott szemcse sötét cheralit2 tartalmának röntgenspektruma

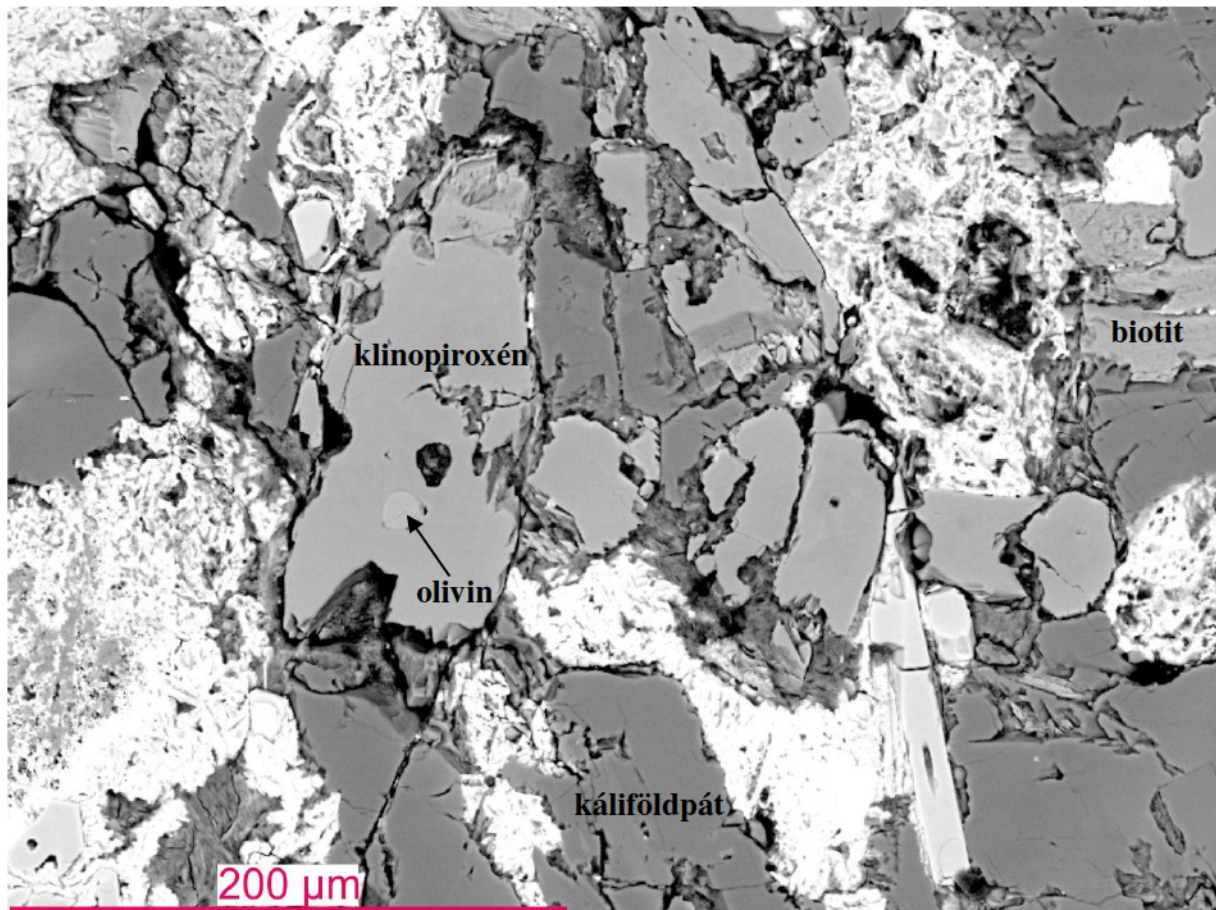
A két spektrumról (14. és 15 ábra) leolvasható, hogy a világosabb részeken a tórium, míg a sötétebb részeken a különböző ritkaföldfém (cérium, neodímium, szamárium és gadolínium) tartalom nagyobb.



16. ábra: M005 mintából szeparált, limonittá mállott egykori vas-oxid kockák, amelyeket cheralitos kötőanyag tart össze

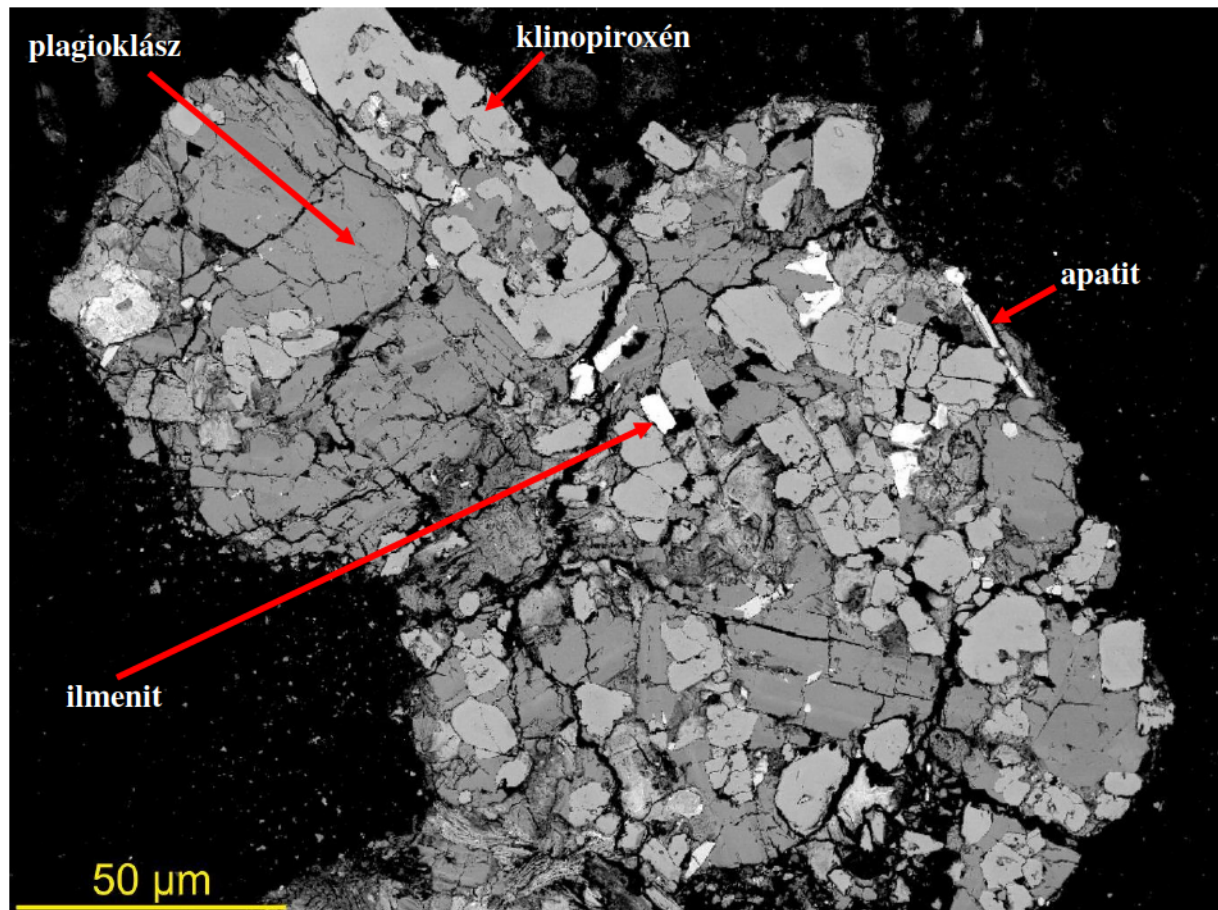
A 16. ábrán látható szemcsében az elmállott vas-oxid egy cheralitban gazdag kötőanyag tartja össze.

Magmás szöveti elemeket mutató szemcsékben azonosított ásványok a következők: klinopiroxén, ortopiroxén, apatit, ilmenit, nagy titán-tartalmú magnetit, króm-tartalmú spinell, ilmenit, plagioklász, biotit, pentlandit, baddeleyit és olivin (17. ábra).



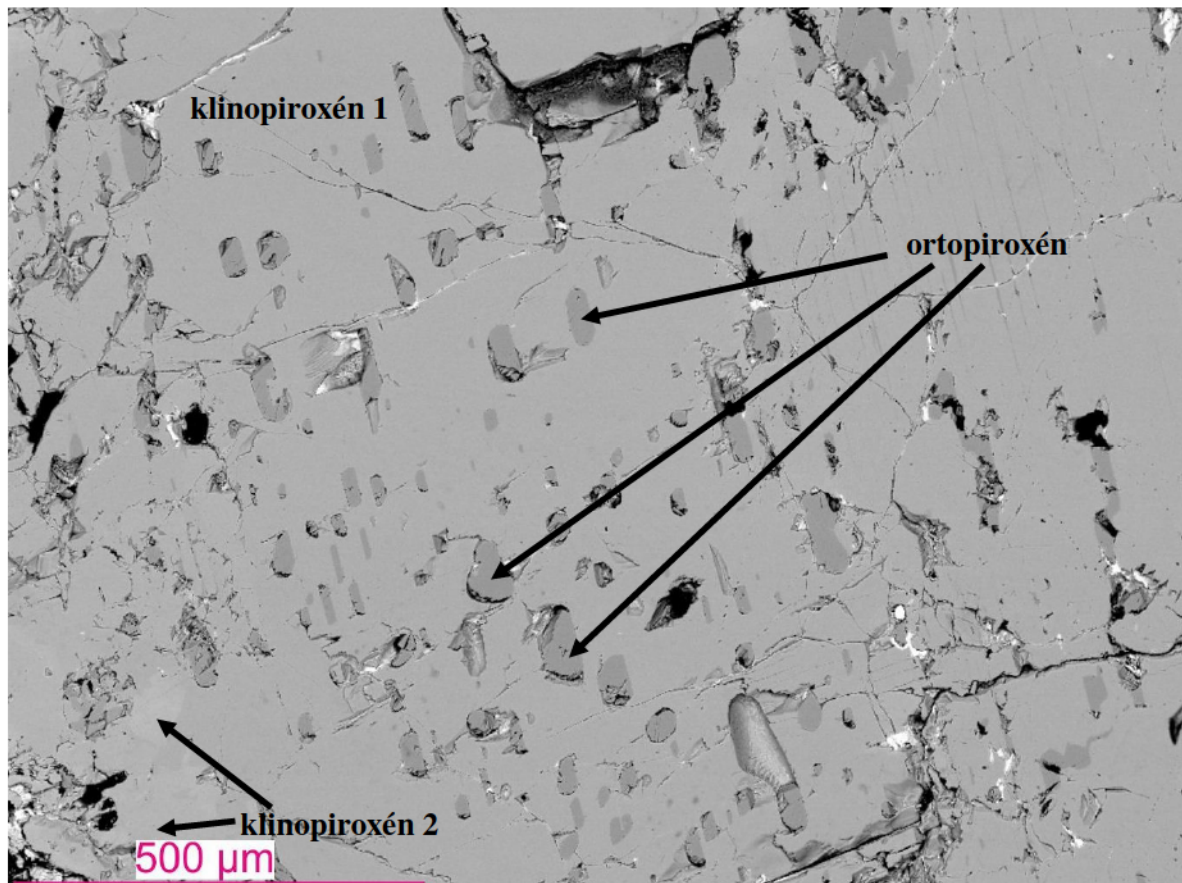
17. ábra: Az M002 mintából származó magmás szövetet mutató szemcse visszaszórt elektron képe, azonosított ásványok: klinopiroxén, káliföldpát, biotit és olivin

A 17. ábrán egy magmás szövetű szemcse képe látható, amiben biotitot, káliföldpátot, zónás klinopiroxént és olivint azonosítottunk.



18. ábra: Magmás szövetű szemcse visszaszórt elektron képe, azonosított ásványok: plagioklász, klinopiroxén, ilmenit és apatit

A 18. ábrán látható egy plagioklászban gazdag szemcse, további azonosított ásvány a klinopiroxén, az ilmenit és az apatit.



19. ábra: Az M002-ből származó piroxén visszaszórt elektron képe: klinopiroxénben ortopiroxén szételegyedési lemezkék, ami szintén magmás eredetre utal

A 19. ábrán a klinopiroxénben ortopiroxén szételegyedési lemezlák figyelhetők meg, illetve a szemcse szélén eltérő összetételű (zónás) klinopiroxén található, ami egyértelmű bizonyíték a szemcse magmás eredetére.

6.4. Gamma-spektroszkópia

Az öt meddőhányóról származó talajmintát egy napra lezártam, majd 6-6 órás méréseket végeztünk rajta. A 2. táblázat foglalja össze a leányelemek gamma vonalai alapján számolt ^{232}Th tartalmat és annak bizonytalanságát. Az utolsó oszlopban a számolt Th átlagérték látható.

2. táblázat: A leányelemek gamma vonalai alapján számolt ^{232}Th -tartalom értéke, alsó indexben az aktuálisan használt leányelemek vannak feltüntetve

Mintasszám	$^{232}\text{Th}_{208\text{Tl}}$ (ppm)	$^{232}\text{Th}_{212\text{Pb}}$ (ppm)	$^{232}\text{Th}_{228\text{Ac}}$ (ppm)	$^{232}\text{Th}_{\text{Átlag}}$ (ppm)
NK5	60±2	87±20	50±1	63±8
NK6	561±7	731±72	573±7	621±29
M002	21±1	25±1	36±3	27±1
M004	2168±22	2507±23	1910±24	2195±23
M005	1800±16	2118±18	1833±20	1917±18

Az eredmények azt mutatják, hogy az M004 mintában a legnagyobb a ^{232}Th tartalom. Az M002 jelű talajminta átlagos tórium tartalma (27±1 ppm) közel százada a maximális (2195±23 ppm) értéknek.

7. Eredmények értékelése és összefoglalás

A Nagy-Kopasz hegyről begyűjtött öt talajmintának a környezetgeokémiai szempontú vizsgálatát végeztünk el. Ehhez több vizsgálati technikát is használtunk: szitálás, mikroszkópia, energiadiszperzív rendszerrel felszerelt elektronmikroszkóp és gamma-spektroszkópia.

A terepen elvégzett helyszíni dózisteljesítmény-mérések során az általam mért legnagyobb aktivitás 10700 nSv/h. Ez az érték az átlagos háttérsugárzásnál (70-90 nSv/h) két nagyságrenddel nagyobb. A kettő legnagyobb aktivitású minta az M004 (3700 nSv/h) és az M005 (10700 nSv/h) minta.

A gamma-spektroszkópiai eredmények azt mutatják, hogy az M004 jelű mintának az aktivitása (2195 ± 23 ppm) kicsit nagyobb az M005 aktivitásánál (1917 ± 18 ppm). Az előbbi két mérési értékből (azaz a helyszíni dózisteljesítményből és a gammaspektroszkópiából) egyértelműen kiderül, hogy - mivel az M005 terepi aktivitásértéke háromszorosa az M004 mintának a labormérések pedig ezt nem támasztják alá - az M005 minta esetében a mintavételezés nem a tóriumban leggazdagabb részből történt.

A pásztázó elektronmikroszkópiával megvizsgált közetszemcsék kétféle szövetet mutattak: eredeti magmás szövetet, illetve erősen átalakult szövetet. Ez utóbbi minták ásványos összetételéből arra a következtetésre jutottunk, hogy a mintákat hidrotermális hatás érte, ezt bizonyítják a hidrotermális eredetű ásványok - kalcit, barit és cinnabarit - jelenléte. Azokban a szemcsékben, amelyeket hidrotermális hatás ért, mállási folyamat indult el (pl. egykori vas-tartalmú ásványok – pl. pirit – limonittá alakulása). A hidrotermális ásványok keletkezési körülményeinek összehasonlítása (*Koch et al., 1967*) azt mutatja, hogy kis hőmérsékletű hidrotermából váltak ki az ásványok, max. 200°C körül, ami epitermás-telettermás hőmérsékleti intervallumot jelöl.

A mikroszkópi és visszaszórt elektronkép képeken látszik, hogy a cheralit különböző vas-oxidokhoz kötődve jelenik meg a vizsgált mintákban. Ezt azt sugallja, hogy a cheralit keletkezése a hidrotermális folyamatokhoz köthető, azaz a melegvizes oldat mobilizált olyan elemeket, amik később kicsapódva cheralitot formálhatták. A cheralit a szeparált szemcséken belüli megjelenése többféle: szemcsék felszínén, szemcsék belsejében, illetve mállott

szemcsék kötőanyagában. Ezek a megjelenési formák is azt látszanak alátámasztani, hogy valamilyen oldatoknak kellett mozognia, amiből a szemcsék kiválhattak

A cheralit összetételét is megvizsgáltuk, így kiderítettük, hogy a cheralit egy szemcsén belül nem homogén megjelenésű, a nagyobb tórium (14. ábra), illetve nagyobb ritkaföldfém tartalmú fázisok (15. ábra) váltakozásából áll.

A cheralit mellett előforduló magmás szövetet és ásványi összetételt mutató szemcsék mikroszkópos vizsgálataiból kiderült, hogy két, eltérő közettípust tudunk elkülöníteni: az andezitet és a lamprofírt. Az andezit darabkák döntően plagioklászokból állnak (18. ábra) (80%), amelyek mellett klinopiroxént, apatitot és ilmenitet azonosítottunk. A lamprofírnak tekinthető kőzetdarabkákban biotit, klinopiroxén, káliföldpát és olivin mellett olyan akcesszóriákat azonosítottunk, mint apatit, ilmenit és baddeleyit.

A Budaörs 1-es fúrásban ami a vizsgált területtől kb 5 km-re délkeleti irányban van középső-triász andezitet harántoló legalább öt felső-kréta korú lamprofír telért figyeltek meg (Szabó, 1984). Ebből az analógiából kiindulva és abból, hogy közettörmelékeket találtunk a 7. akna meddőhányóján, arra következtetünk, hogy itt a Nagy-Kopasz hegy környékén is mindkét magmás test előfordul.

Elképzelhető, hogy a tórium megjelenése a nagyobb tömegű andezites testhez kapcsolódik (olyan ásványok szerkezetében, amikben elfér a Th^{4+} és hidrotermás hatásra mállanak, például: ritkaföldfém-foszfátok, allanit), amit a fiatalabb lamprofíros magmatizmus hőhatása mobilizálhatott.

Jelen munka során a tórium és ritkaföldfém kihasználhatóság kérdése is felmerült. A tórium mint reaktorok üzemanyaga, illetve a ritkaföldfémek közül pl. a neodímium, mint mágnes vetődött fel, de a mennyiségi kérdés eldöntéséhez még további kutatások szükségesek.

8. English summary

Environmental-geochemical study of cheralite at Nagy-Kopasz hill, Buda Mts.

The thorium anomaly of Nagy Kopasz hill (Buda Mts.) has been studied since the 1950s. The former Mecsek Ore-mining Company heightened test trenches, prospect pits and drillings on the area. Study of drilling cores and air borne gamma mapping showed a significant thorium anomaly at the studied area, as well as rare earth element (REE) and Y indications. The accumulation of these elements on the vicinity related to the cheralite (thorium rich monazite). The major goal was to perform a study by use physical and geochemical methods on three prospect pit's and one test trench's dump to asses the geological environment of the cheralite, the enclosing minerals and the elements enriched in cheralite.

Based on is-situ gamma dose rate measurements showed maximum 10700 nSv/h on the dumps, which is hundred times higher than the average background value (70-90 nSv/h). Based on these results, five soil samples were collected from the dumps for additional laboratory investigation.

Gamma-ray spectroscopy analysis was carried out for determination of thorium activity concentrations, which show really high content of thorium (max. 2195 ± 23 ppm). Another parts of the soil samples were sieved and divided into seven-seven grain size fractions. Two grain size fractions (0.5-1 mm; >2 mm) of each samples were selected and grains were separated on the basis of morphology and colour. On these grains scanning electron microscopy (SEM-EDS) study was applied to define the content of thorium and REEs and to identify minerals. The high thorium- and REE-bearing grains have been identified as cheralite mineral which is always connected to the presence of Fe-oxides. Two different types of rocks were also identified: lamprophyre and andesite.

Major conclusion is that the presence of thorium connected to an andesitic magmatic body (in monazite's or in feldspar's crystal lattice) and it could be mobilized by lamprophyre magmatism.

9. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni **Németh Biának**, aki a földtani háttér megértésében a legnagyobb segítségemre volt, illetve segített, amikor a monitorra nehezen kúsztak fel a szavak. Köszönöm témavezetőmnek, **Szabó Csabának**, hogy segített kibogozni az összegabalyodott mondanivalómat. Köszönöm **Baricza Áginak**, hogy a közös éjszakázások alatt rávilágított arra a tényre, hogy a felfújható matracon kényelmesebb aludni, mint a polifoamon. Nagyon köszönöm **Muttinak**, hogy a TDK ideje alatt ellátott minket háromnapos hideg és meleg élelemmel egyaránt. Köszönöm **Apukámnak**, hogy értem jött éjjel 11- és hajnali 1-kor, hogy ne utazzak órákat haza. Köszönöm **Bátyámnak**, hogy a TDK elkészítése alatt békén hagyott. Köszönöm **Szabó Zsuzsinak**, hogy a gamma-mérések elindításában segített, illetve, hogy a dolgozatomat átnézve az elvi hibáktól mentesítette. Végül köszönöm **Bendő Zsoltnak**, hogy a SEM méréseknél, illetve hogy a mérési eredmények kiértékelésében segített.

10. Ábra- és táblázatjegyzék

1. ábra: A ^{232}Th bomlási sora (forrás: http://home.fnal.gov/~hannahnp/decay/Th232.html)....	5
2. ábra: A vizsgált terület ismert rétegsora (Császár et al., 2005; Boros, 2009 által részben módosítva)	7
3. ábra: A Nagy-Kopasz hegy és környékének légigamma-tórium eloszlás térképe (Tyhomirov, 1965; Boros, 2009 által módosítva)	8
4. ábra: A Nagy-Kopasz hegy és a mintavételezési pontok elhelyezkedése (forrás: GoogleEarth).....	9
5. ábra: NK5 talajminta fényképe	10
6. ábra: NK6 jelű talajminta fényképe	10
7. ábra: M002 minta fényképe.....	10
8. ábra: M004 talajminta fényképe.....	11
9. ábra: M005 jelű minta fényképe.....	11
10. ábra: A vizsgált minták szitasorral meghatározott tömegszázalékos szemcseméret eloszlás diagramja	17
11. ábra: M005 mintából származó szemcse felszíni cheralit megjelenése	18
12. ábra: M005 mintából származó cheraliton felvett röntgenspektrum.....	18
13. ábra: Az M004 mintából származó, vas-oxidokból és cheralitból álló szemcse eltérő cheralit összetételét mutató visszaszórt elektronkép	19
14. ábra: Az 13. ábrán bemutatott szemcse világos cheralit1 tartalmának röntgenspektruma	19
15. ábra: Az 13. ábrán bemutatott szemcse sötét cheralit2 tartalmának röntgenspektruma....	20
16. ábra: M005 mintából szeparált, limonittá mállott egykori vas-oxid kockák, amelyeket cheralitos kötőanyag tart össze.....	21
17. ábra: Az M002 mintából származó magmás szövetet mutató szemcse visszaszórt elektron képe, azonosított ásványok: klinopiroxén, káliföldpát, biotit és olivin.....	22
18. ábra: Magmás szövetű szemcse visszaszórt elektron képe, azonosított ásványok: plagioklász, klinopiroxén, ilmenit és apatit.....	23
19. ábra: Az M002-ből származó piroxén visszaszórt elektron képe: klinopiroxénben ortopiroxén szételegyedési lemezkék, ami szintén magmás eredetre utal	24

1. táblázat: A Nagy-Kopasz hegyről gyűjtött minták származási helye, EOY koordinátái és a felszínükön mért dózisteljesítmény	16
2. táblázat: A leányelemek gamma vonalai alapján számolt ^{232}Th -tartalom értéke, alsó indexben az aktuálisan használt leányelemek vannak feltüntetve.....	25

11. Irodalomjegyzék

- ALLEGRE, C.J., LEWIN, E. AND DUPRE, B. (1988). A Coherent Crust Mantle Model for the Uranium Thorium Lead Isotopic System. *Chemical Geology* 70(3) pp. 211-234.
- CSÁSZÁR, G. szerk. 1997: Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. Kréta. — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, p. 163.
- CSÁSZÁR, G. 2005: Magyarország és környezetének regionális földtana I. Paleozoikum-paleogén. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. p. 328.
- DICKSON, BRUCE L. 2004: Recent advances in aerial gamma-ray surveying; *Journal of Environmental Radioactivity* Volume 76, Issues 1-2, 2004, Pages 225-236
- DUDKO, A. 1984: Magmás képződmények kutatása mágneses módszerrel Nagykovácsi környékén
- GERZSON, I., WÉBER, B., 1960: Zárójelentés a Budai-hegységben Nagykovácsi környékén 1956-57-58. években végzett radioaktív nyersanyag kutatásáról. MÉV Adattár.
- GROSCH, M., MÜLLER M., 2010: A Budai- hegységben található radioaktív anomália környezet geokémiai vizsgálata. (Diákköri dolgozat) p. 44.
- HORVÁTH, I., DARIDÁNÉ, TICHY M., ÓDOR, L. 1983: Magnezittartalmú dolomitos karbonatit (Beforsit) telérközet a Velencei-hegységből. *Földtani Int. Évi Jel. Az 1981 évről*, pp. 369-388.
- HORVÁTH, I., ÓDOR, L. 1984: Alkaline ultrabasic rocks and associated silicocarbonatites in the NE part of the Transdanubian Mts. (Hungary). *Mineralia Slovaca*, 16 (1), pp. 115-119.
- KOCH, S., SZTRÓKAY, K. I., 1967: Ásványtan II. - Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- KUBOVICS, I., SZABÓ, CS. 1988: Geochemical, Petrologic and Mineralogical study on alkali mafic and ultramafic dike rocks from Alcsutdoboz-2 drill hole (in Hungarian). *Magy. Áll. Földt. Int. Évk. LXV*, pp. 335-356.
- NUCLIDES 2000: An Electronic Chart of the Nuclides on CD
- POZSGAI I., 1995: A pásztázó elektronmikroszkópia és elektronsugaras mikroanalízis alapjai - ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, p. 172.

- SZABÓ, CS., KUBOVICS, I., MOLNÁR, ZS. 1993: Alkaline lamprophyre and related dyke rocks in the NE Transdanubia, Hungary: The Alcsutdoboz-2 borehole. *Mineralogy and Petrology*, 47, pp. 27-148
- SZABÓ, CS. 1984: Az Alcsutdoboz-2. (AD-2.) fúrással harántolt alkálilázit zárványainak ásvány-kőzettani és geokémiai vizsgálata, eredete, genetikai jelentősége (Egyetemi doktori disszertáció), p. 165.
- SZABÓ, CS. 1985: Xenoliths from Cretaceous lamprophyres of Alcsútdoboz-2 borehole, Transdanubian Central Mountains, Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica*, 27, pp. 39-50.
- SZABÓ, ZS., BOROS, Á. 2009: Tapasztalatok a Nagy-Kopasz hegyi tórium anomália tanulmányozása során – A RAD7 radonmonitor működése nagy toron exhaláció esetén (Diákköri dolgozat) p. 60.
- SZABÓ, ZS., 2009: A radon és toron vizsgálata a Zsámbéki medence északkeleti részén (Diplomadolgozat). p. 57.
- TYHOMIROV 1965: Légi-radiometriai térképcsomag, Pilis-Budai hegység. ELGI
- UNSCEAR Report 2000: Exposures from natural radiation – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.
- WABER, N. 1992: The supergene thorium and rare-earth element deposit at Morro do Ferro, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil, *Journal of Geochemical Exploration*, 113-157.
- WÉBER, B. 1962: Thorium és ritkaföld indikációk a Budai-hegységben - Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest pp. 455-457.
- WÉBER, B. 1989: A budai-hegységi Th-anomáliák - Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest pp. 373-388
- WÉBER, B. 2002: A tórium földtani kutatása Magyarországon – Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből XIII. Érc kutatások Magyarországon a 20. században, pp. 103-121.

Internetes hivatkozások:

EOV átszámítás: http://www.agt.bme.hu/staff_h/zaletnyik/Atszamitas.html

Műholdtérképek: GoogleEarth <http://www.google.com/earth/index.html>

²³²Th bomlási sor: <http://home.fnal.gov/~hannahnp/decay/Th232.html>

World Nuclear Association:

<http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=448&terms=Thorium+232>